



УДК551.14./16:550.834+552.1+551.24

ПОЯСА БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

В.П. Коболев

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, Киев, Украина

e-mail vpkobolev@ukr.net, тел.050 493 44 45.

SAFETY BELTS OF THE DONETS BASIN COAL MINE

V.P. Kobolev

Institute of Geophysics. S.I. Subbotina of NASU, Kyiv, Ukraine,

e-mail vpkobolev@ukr.net, tel. 050 493 44 45.

ABSTRACT

Purpose. Consideration of the nature of the occurrence of catastrophic events in the mines of the Donetsk coal basin.

Methods. Geological Structural and tectonic analysis of the elastic–stressed state of the Folded Donbass.

Findings. The article discusses issues of the geological structure and physical condition of the Folded Donbass, as the basis for the optimal cutting of mine fields, mining safety, efficient mining of coal and associated methane gas.

Originality. Methods of unloading the array around the mine workings, taking into account the elastic–stress state of the Donbass and the parameters of the migration routes of combustible gases.

Practical implications. Methods are proposed for the possible elimination of sudden emissions of coal, rock and gas in the form of an avalanche–like destruction of the bottom–hole part of the coal (rock) massif and practical ways to improve the safety of mining operations.

Keywords: *folded Donbass, structural and tectonic analysis, catastrophic events, unloading of coal, rock and gas.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на сложившуюся политическую ситуацию, Донецкий угольный бассейн был и остается основным топливно–энергетическим регионом Украины. При его освоении задействован неоценимый человеческий ресурс. Потому особенно ощутимыми являются людские потери, сопровождающие в отдельных случаях угледобычу. Крупнейшими трагедиями на украинских шахтах за последние 15 лет являются три взрыва на шахте имени А.Ф. Засядько, которые за две недели (ноябрь – декабрь 2007 г.) унесли из жизни 106 горняков, а десятки были госпитализированы. Поэтому обеспечение безопасности горных работ является главной промышленно–функциональной проблемой угледобывающих предприятий, требующей самого пристального внимания и

научного осмысления.

В угольных шахтах Донбасса как, впрочем, и в других угольных регионах, где добыча угля осуществляется подземным способом, издавна существуют три естественные опасности: выбросы, метан и обрушения породы [Бокий и др., 2013].

Внезапные выбросы угля, породы и газа происходят в форме незапланированного технологией горных работ лавинообразного разрушения призабойной части угольного (породного) массива, в результате которого уничтожаются значительные материальные средства и погибают люди. Внезапные выбросы, как правило, происходят в зонах тектонически нарушенных угленосных горизонтов после некоторого периода подготовки, длительность которого определяется несколькими временными масштабами:

– «геологического», связанного с комплексом

геологических и тектонофизических процессов на всех стадиях формирования угольного месторождения;

- «техногенного», связанного с изменениями геомеханического состояния окружающего массива в результате опережающей разработки смежных пластов;

- «технологического», связанного с изменениями газодинамического режима призабойной части пласта в процессе его разработки под влиянием различных технологических приемов и способов воздействия на массив;

- «текущего», связанного с энергетическим состоянием призабойной части массива в данный момент времени.

Газ метан, который входит в состав углей и вмещающих пород, а также тонкодисперсная пыль, образующаяся в результате дробления угля при его добыче, представляют собой в высшей степени взрывоопасную субстанцию. При их запердельной концентрации достаточно искре проскочить между электрическими контактами сложного шахтного оборудования, как произойдет взрыв.

Не менее опасным травмирующим фактором в угольных шахтах является обрушение пород. Так за период с 1996 по 2005 год включительно на шахтах Донбасса произошло 1182 обрушения породы, при которых погибло 467 горняков. За этот же период времени произошло 68 взрывов и вспышек газа, которые привели к гибели 397 человек.

О причинах возникновения этих катастроф и методах их возможного устранения пойдет речь в излагаемом материале.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Геологическое строение региона. Главное место в комплексе технологических факторов, определяющих угледобычу на всех стадиях горного производства, занимает геологическое строение угольных бассейнов. При этом, тектонический фактор и физическое состояние среды являются основой для оптимальной раскройки шахтных полей, безопасности горных работ, эффективной добычи угля и сопутствующего газа–метана. Поэтому, для изучения поставленной проблемы следует, в первую очередь, остановиться на рассмотрении геологического строения региона.

Изучение геологического строения Донбасса имеет почти двухсотлетнюю историю. Первое геологическое исследование этого региона, видимо принадлежит Евграфу Ковалевскому, который в 1827 году в Санкт–Петербургском Горном журнале опубликовал замечательную статью «Опыт геогностических исследований в Донецком горном кряже». Следует отметить, что Е. Ковалевскому принадлежит приоритет в названии – Донецкий горный кряж. В подтверждение этому, следует дословно привести его цитату: «В юго–западных пределах России, в Екатеринославской губернии и в прилегающей к ней части земли Войска Донского, простирается особенный горный кряж, хотя и неотличающийся поныне ни каким названием, но

тем не менее заслуживающий внимания, как по составу своей почвы, так и тем полезным минералам» [Ковалевский, 1827, с. 28, 29].

Впоследствии, в разное время и разными исследователями регион Донбасса относился: к прогибу Большого Донбасса [Степанов, 1932], авлакогену [Шатский, 1946], Днепровско–Донецкой впадине [Соллогуб, 1986], Днепровско–Донецкому палеорифту [Чекунов, 1994], Доно–Днепровскому прогибу [Гавриш и др., 1989], Донецкой парагеосинклинали [Белоусов, 1989] и, наконец, геосинклинали без географического уточнения [Гордиенко, Усенко, 2000; Усенко, 2002]. Однако наиболее употребительным оказался термин свободного пользования «Донецкое складчатое сооружение», подчеркивающий неустановленную природу его плекативной дислоцированности.

Такое множество тектонических определений свидетельствует как о чрезвычайной сложности исследуемого объекта, так и о недостаточности сведений для адекватности его определения. Не обсуждая степень тектонической тождественности каждого из этих терминов, на основании глубинного строения региона кратко остановимся на наших представлениях о природе его складчатости [Коболев, Оровецкий, 2008] и попытаемся причинно оценить создавшуюся экстремальную обстановку.

Значительные запасы нефти, газа, угля и других полезных ископаемых обусловили высокую геолого–геофизическую изученность Днепровско–Донецкой впадины (ДДВ) и Донецкого складчатого сооружения (ДСС). Традиционно используемые для изучения глубинного строения региональные сейсмические исследования решили в свое время ряд важных вопросов, в частности поведение основных сейсмических границ в земной коре ДДВ, ДСС и прилегающих территорий.

Установленное по данным глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) поднятие поверхности М под ДДВ является одним из основных аргументов в пользу процессов растяжения земной коры при образовании палеорифта [Соллогуб, 1986]. Последние результаты сейсмических исследований ГСЗ, в рамках международной программы «EUROPROBE» [Град, Гринь, Гутерх и др., 2003; Град, Гутерх, Келлер и др., 2006; Grad et al., 2003] и методом общей глубинной точки (МОГТ) [Maystrenko et al., 2003; Стомба, Толкунов, Стифенсон и др., 2002; Стомба, Толкунов, Майстренко и др., 2006] позволили уточнить данные о глубинном строении земной коры Донбасса, южного склона Воронежского (ВКМ) и Приазовского (ПКМ) кристаллических массивов. Эти работы в свою очередь стимулировали построение новых плотностных моделей [Баранова, Егорова, 2004; Старостенко и др., 2008]

В рамках выполнения государственной программы «Комплексные исследования состояния техногенно–геологических систем угленосных формаций и изучения генерированных в них физических полей и геологических процессов для оценки и научного обоснования региональных закономерностей изменений физических

характеристик массива горных пород в угледобывающих регионах Украины» Институтом геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины в 2008 г. были проведены региональные аэрогеофизические исследования методом анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли (АСЭМЭЗ) вдоль двух хорошо изученных в сейсмическом отношении региональных профилей (рис. 1), пересекающим юго-восточную часть Днепровско–Донецкой впадины (ДДВ) и Донецкого складчатого сооружения (ДСС).

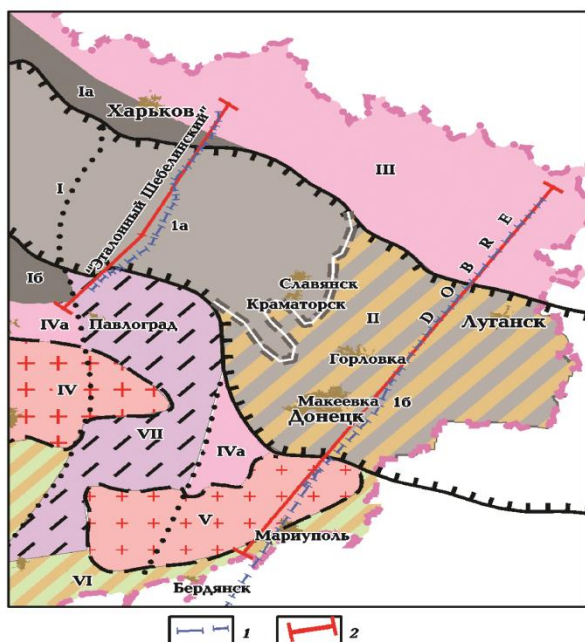


Рис. 1. Фрагмент схемы тектонического районирования ДДВ, ДСС и прилегающих территорий (по [Сологуб, 1986] с сокращениями и дополнениями). I – Днепровско–Донецкий грабен, Ia – северный борт, Ib – южный борт, II – Донецкое складчатое сооружение, III – южный склон Воронежского кристаллического массива, IV – Украинский кристаллический щит, IVa – северный склон Украинского кристаллического щита, V – Приазовский щелочной массив, VI – Причерноморский прогиб. Расположение региональных геофизических профилей: 1 – сейсмических (1a – МОГТ Лозовая–Шебелинка–Новопокровка, 1б – ГСЗ DOBRE), 2 – аэроэлектромагнитных наблюдений.

Полученные данные о мощности коры палеорифта, различного рода тектонических нарушений, контактов и крупных разломов, разграничивающих отдельные блоки и прилегающие структуры, позволили дополнить, а в некоторых случаях и изменить синтезированные модельные построения литосферы этого региона [Старостенко, Лукин, Коболев и др., 2009].

Вышеуказанные материалы, наряду с результатами ранее выполненных геотермических исследований [Кутас, Бевзюк, 1992; Усенко, 1997, 2002] представляют большой интерес для получения логично увязанных представлений об упруго–напряженном состоянии региона со всеми

вытекающими теоретическими и практическими последствиями.

Согласно данным ГСЗ [Град, Гринь, Гутерх и др., 2003; Град, Гутерх, Келлер и др., 2006; Grad et al., 2003] и результатам аэроэлектромагнитных исследований методом АСЭМЭЗ [Старостенко, Лукин, Коболев и др., 2009], мощность земной коры в Складчатом Донбассе составляет около 40 км (рис. 2).

Это отличается от ранее опубликованных моделей [Соллогуб, 1986], не учитывавших рефрагированные волны в верхней мантии. «Коромантийный» слой, который принято считать показателем рифтогенеза, имеет мощность 4–5 км, а «базальтовый» геофизический слой – 10–25 км, что, видимо, можно связывать с преимущественно магматической его природой. «Гранитный» геофизический слой в разрезе земной коры ДСС практически отсутствует [Соллогуб, 1986, Логвин и др., 2003 и др.].

Геологическая предыстория Донбасса, согласно нашим представлениям, началась около 700 млн. лет тому назад [Коболев, Оровецкий, 2008]. В то время на современной его территории располагался позднепротерозойский рифтогенный палеомагнитный экватор (3), (см. рис. 1.3 в [Оровецкий, Коболев, 2006]), представляющий собой планетарный горячий пояс Земли. Он предопределил формирование Днепровского грабена, структура растяжения которого сейчас выполнена протерозойскими осадками общей мощностью до 10 км [Соллогуб, 1986, Град, Гринь, Гутерх и др., 2003; Град, Гутерх, Келлер и др., 2006; Grad et al., 2003; Maystrenko et al., 2003; Стомба, Толкунов, Стифенсон и др., 2002; Стомба, Толкунов, Майстренко и др., 2006].

Днепровский грабен рекуррентно наследовался такими же планетарными рифтогенами палеомагнитных экваторов девона и карбона соответственно (20) и (29), (см. рис. 1.4 в [Оровецкий, Коболев, 2006]), которые вызывали в то время интенсивный последовательно–временной рифтогенный магматизм, сопровождаемый периодическими подъемами территории. Для указанного периода известны: раннепалеозойский Приазовский интрузивный комплекс (410–380 млн. лет), сложенный ультрамафитами и мафитами с ярко выраженной щелочной тенденцией; девон–карбонный Волновахско–Еланчикский комплекс (365–335 млн. лет), представленный такими же щелочно–ультраосновными и щелочно–основными магматитами совместно с автономной трахибазальтовой формацией, чьи образования обогащены калием, магнием и титаном [Панов, 1994].

Время формирования указанных формаций совпадает с поздним девонem и ранним карбоном соответственно и характеризуется пространственным присутствием аналогичных планетарных рифтогенных палеомагнитных экваторов [Оровецкий, Коболев, 2006].

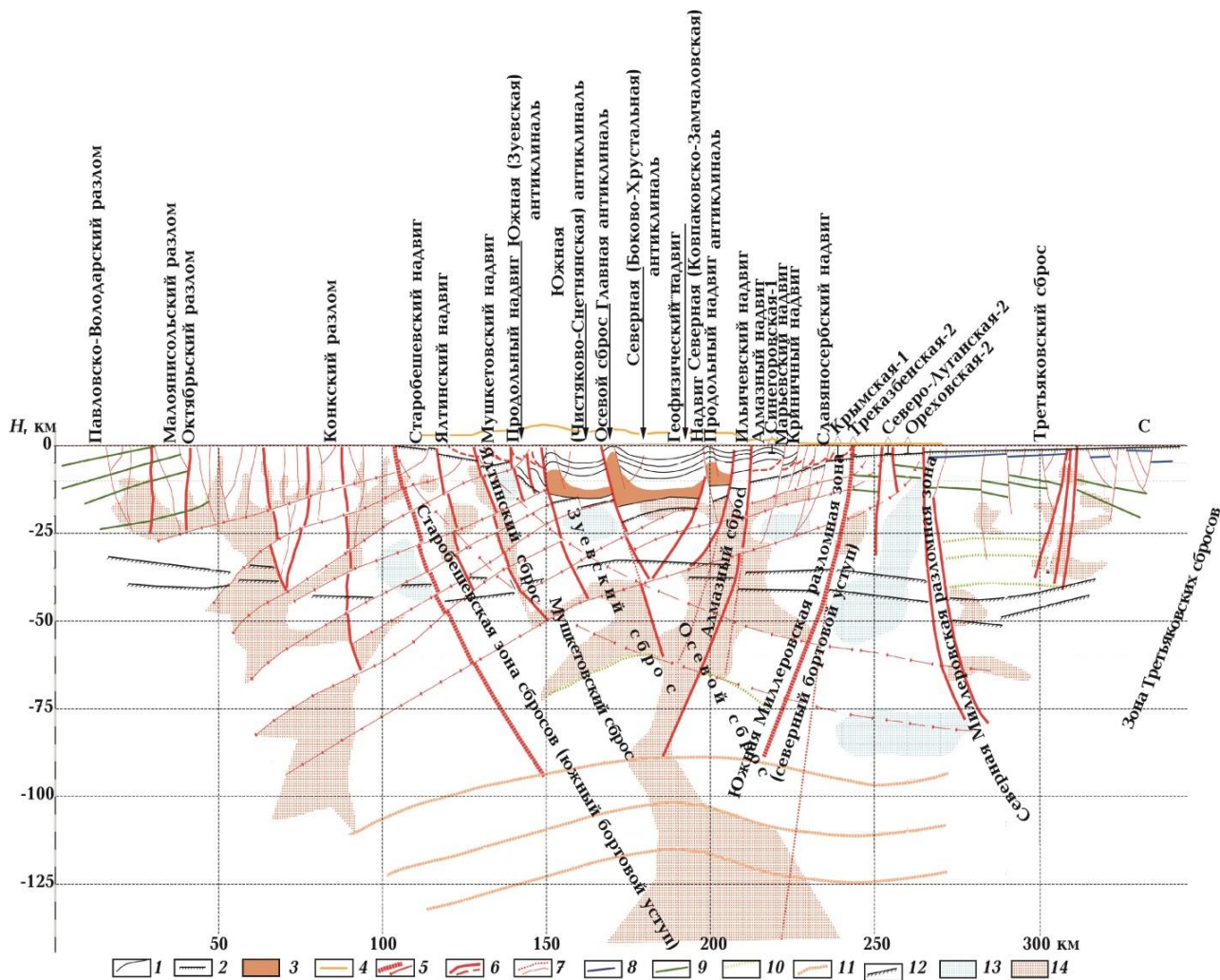


Рис. 2. Модель глубинного строения по профилю «DOBRE» [Старостенко, Лукин, Коболев и др., 2009]. Условные обозначения: геологические границы: 1 – в осадочном чехле, 2 – в кровле кристаллического фундамента, 3 – в кровле девона; 4 – степень метаморфизма углей; глубинные разломы разного ранга: 5 – 1-го ранга, 6 – 2-го ранга, 7 – предполагаемые, 8 – разломы в коро-мантийном слое; 9 – 3-го ранга, 10 – зоны тектонических напряжений в коромантийном слое; геофизические границы: 11 – в предполагаемом протофундаменте, 12 – различной плотности коромантийного вещества, 13 – предположительно связанная с прогревом коромантийного вещества, 14 – связанная с понижением вязкости в астеносферном слое.

Днепровский грабен рекуррентно наследовался такими же планетарными рифтогенами палеомагнитных экваторов девона и карбона соответственно (20) и (29), (см. рис. 1.4 в [Оровецкий, Коболев, 2006]), которые вызывали в то время интенсивный последовательно-временной рифтогенный магматизм, сопровождаемый периодическими подъемами территории. Для указанного периода известны: раннепалеозойский Приазовский интрузивный комплекс (410–380 млн. лет), сложенный ультрамафитами и мафитами с ярко выраженной щелочной тенденцией; девон-карбонный Волновахско-Еланчикский комплекс (365–335 млн. лет), представленный такими же

щелочно-ультраосновными и щелочно-основными магматитами совместно с автономной трахибазальтовой формацией, чьи образования обогащены калием, магнием и титаном [Панов, 1994].

Время формирования указанных формаций совпадает с поздним девонem и ранним карбоном соответственно и характеризуется пространственным присутствием аналогичных планетарных рифтогенных палеомагнитных экваторов [Оровецкий, Коболев, 2006]. Следующая магматическая фаза в регионе представлена раннекарбонными толеит-базальтами (350–330 млн. лет) – продуктом плавления континентальной

мантии. Щелочными породами Покрово–Киреевского комплекса (330–300 млн. лет) завершается в карбоне известная палеозойская история магматизма в Донбассе. Приведенные данные указывают на то, что ее длительность составляла, как минимум, 100 млн. лет и связывается нами с наследованием его территорией в то время рифтогенных палеомагнитных экваторов девона и карбона [Оровецкий, Коболев, 2006]. На этом основании время рифтового магматизма в Донбассе следует ограничивать, по-видимому, не средним–верхним девоном, как это предполагается в [Панов, 1994], а продлить его до среднего карбона, то есть еще минимум на 50 млн. лет. Это подтверждается, в частности, данными литогеохимического анализа пород башкирского и московского ярусов, свидетельствующих о появлении на ряде уровней индикаторов непосредственного участия эндогенного эксгальационного и туфогенного вещества (зеленые хлорит–сметитовые глины с аномально–высокими концентрациями ряда эндогенных сидеро– и литофильных элементов, "табачковые" и тому подобные туфопесчаники и т.п.) [Лукин, 1997].

В конце карбона–начале перми, согласно фациальному анализу, начинается очередной подъем территории. Его апогей приходится на киммерийскую тектоническую эпоху (триас – поздний мел) и связывается с внедрением непосредственно в земную кору крупного мантийного магматогена [Усенко, 2004]. Внедрение сопровождалось образованием в земной коре производных ультраметагенных магматитов Южно–Донбасского интрузивного комплекса (290–260 млн. лет), обогащенных щелочами и кремнекислотой. На границе с триасом известен коровый [Панов, 1994] андезит–трахиандезитовый (230–220 млн. лет), а в поздней юре – (160±12 млн. лет) лампрофировый Миусский комплекс. Наиболее юными в регионе, считаются позднемеловые щелочные базальты с абсолютным возрастом 80–74 млн. лет, обнаруженные бурением соответственно в Краснодонском районе и в Старобельско–Миллеровской моноклинали [Панов, 1994]. Они относятся нами к очередной фазе мантийных перегретых магматитов, завершающих киммерийский тектогенез в регионе [Коболев, Оровецкий, 2008].

По своему вещественному составу изверженные породы Донбасса можно разделить на два крупных класса: глубинные, представляющие собой раскристал–лизованное вещество недеплетированной мантии или даже внешнего ядра Земли, и коровые ультраметагены, известные преимущественно в эффузивной фации. Первые представлены щелочными разновидностями примитивных базитов и гипербазитов, вторые – трахибазальтовой формацией с ее крупнопорфировыми магматитами Южно–Донбасского интрузивного и андезит–трахиандезитового комплексов. Щелочные породы Покрово–Киреевского комплекса и Миусский комплекс щелочных лампрофиров следует, по-видимому, относить к декомпенсационным фракционатам глубинных магматических очагов.

Сведений о приуроченности киммерийских магматитов к одному из последующих рифтообразующих палеомагнитных экваторов в нашем банке данных нет. Однако о мантийных истоках и соответствующих перегретости и температурной ультраметагенной агрессивности их вещества информируют не только присутствующие в базальтоидах высокие содержания щелочей, но и вместе с ними повышенные изотопные отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$, в несколько раз превышающие фоновые коровые [Усенко, 2002]. Кроме того, результаты магнитотеллурических зондирований свидетельствуют о наличии в земной коре региона крупной аномалии электропроводности с суммарной проводимостью до 10000 См [Геоэлектрическая модель, 1998], что не исключает существования в настоящее время на глубине магматических расплавов.

В подтверждение этого можно привести также результаты геохимических исследований, (устное сообщение В.А. Канина, в прошлом сотрудника Украинского государственного научно–исследовательского и проектно–конструкторского института горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела НАН Украины, г. Донецк) выполненных в 13–й восточной лаве пласта I₁ шахты им. А.Ф. Засядько за 6 месяцев до выше указанной трагедии 2007 г., которые показали наличие на участке длиной 700м нескольких аномалий напряженного состояния, трещиноватости углепородного массива и скоплений свободного газа различного химического состава. Первая зона повышенного газовыделения протяженностью 120м (по простиранию пласта) была приурочена к тектоническому нарушению сбросового типа с амплитудой смещения 0,6 м, в зоне влияния которого ранее, в сентябре 2006 года произошла авария с выделением более 100 тыс. м³ метана. Вторая зона протяженностью 200 м была выявлена на расстоянии 180 м от первой и при ее переходе лавой абсолютная метанообильность участка достигала 137 м³/мин. В обеих зонах в составе исследуемых газов, пробы которых отбирались из дегазационных скважин, пробуренных в кровлю пласта, наблюдалась тенденция уменьшения значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ от –31,48 до –29,8‰ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ от –24,88 до –17,18‰ и роста содержания тяжелых углеводородов (до 8,6%), водорода (до 0,14%) и гелия (до 0,12%).

Выявленные зоны повышенной метанонасыщенности углепородного массива характеризовались также сближением изотопного состава углерода метана и углекислого газа. Поскольку отмеченное сближение может происходить либо с ростом метаморфизации угля, либо в результате фракционирования изотопов углерода между CH_4 и CO_2 при температурах, превышающих 200°C, то полученные данные однозначно указывают на то, что метано–насыщенные зоны, выявленные на участке 13–й восточной лавы, образовались за счет притока газов из глубинного источника.

Повышенная плотность теплового потока в тектонически проницаемых зонах, превышающая в отдельных случаях 100 мВт/м² [Кутас, Бевзюк, 1992;

Усенко, 1997, 2002], указывает на сильный прогрев земной коры Донбасса киммерийским магматогеном [Шумлянский, 1983]. Этот прогрев выразился как в метаморфизме углей до антрацитовой фации, так и в обязательном в таких случаях приращении объема прогреваемых пород. Находясь между двумя древними жесткими тектоническими упорами, роль которых выполняют в данном случае Воронежский кристаллический массив на севере и Украинский щит на юге, они в результате температурного увеличения объема оказались в сложном термонапряженном состоянии. Его разрядка осуществлялась в формах дизъюнктивно-пликативной тектоники и общего воздымания территории.

Показано [Палиенко, 1992], что за последние 5 млн. лет Донбасс поднялся всего лишь на 100–150 м, что в сумме и привело, на наш взгляд, к его современному тектонически напряженному состоянию. Судя по отмечавшейся по [Чекунов, 1994] сравнительно невысокой дислоцированности пород Донбасса, где по существу нет шарьяжей, крупных надвигов, удвоенных стратиграфических разрезов и массового опрокидывания складок, это расширение по абсолютной величине было небольшим. Вогнутая форма кровли фундамента, на которую в свое время обратил внимание В.В. Белоусов [Белоусов, 1989], связывается нами с частичной термоусадкой корового магматогена при его остывании.

Пересмотр прежних материалов ГСЗ-КМПВ позволил выделить в Восточном Донбассе под центральной частью его осевого грабена крупную низкоскоростную зону, подтвержденную также гравитационным моделированием [Баранова, Егорова, 2004]. Зона локальна, располагается в средней коре, на глубинах между 20 и 30 км при ширине свыше 50 км. По мощности совпадает с «базальтовым» геофизическим слоем, природу которого мы ранее определили, как преимущественно магматическую. Изложенное дает основание для интерпретации упомянутой низкоскоростной зоны в качестве восточной части крупного киммерийского магматогена, послужившего, по нашему убеждению, не только прямой причиной интенсивного прогрева горного массива Донбасса до современной температуры порядка 600°C [Усенко, 2002], но также и косвенной – при образовании его складчатости. Кроме того, авторы переинтерпретации пишут: «Результаты моделирования показывают, что такое изменение плотности пород Донбасса, скорее всего происходит не постепенно, а резко, совпадая с основными структурными границами» [Баранова, Егорова, 2004, с. 96], что указывает на интрузивный их характер. Приведенные наблюдения не противоречат, а наоборот, усиливают, совместно с высоким тепловым потоком, впечатление о наличии в земной коре региона упомянутого магматогена. Чрезвычайно интересным представляется отслеживание авторами северного края этой глубинной интрузии. Он предстает в виде уверенно выделяемой внутрикоровой отражающей границы, насыщенной отражающими площадками и имеющей южное

падение. Будучи спроецированной от корового магматогена по восстанию, эта граница выходит на поверхность в зоне известного регионального Северо–Донецкого надвига. Такая же наклонная граница прослежена несколько западнее по профилю DOBRE (данные МОБ–ОГТ) [Стовба, Толкунов, Стифенсон и др., 2002, Grad et al., 2003]. На поверхности она выходит в зоне того же надвига, нарушая мезо–кайнозойские отложения. В обоих случаях отражающая граница интерпретируется как главное нарушение, по которому произошла тектоническая перестройка Донбасса, что, в общем, не противоречит нашей модели разрядки термонапряженного состояния этой интересной в своем развитии структуры.

Асимметрия Донецкого палеозойского грабена обусловлена асимметрией строения астеносферы. С апикальной частью астеносферы пространственно связан Донецкий палеорифт. Высота подъема астеносферы, в апикальной части составляет примерно 90 км (см. рис. 2). Отмечено постепенное погружение плотностных границ раздела вещества астеносферы на юг под углом 25 – 27°. Северный склон более крутой, переходящий в прогиб, над которым развит Миллеровский выступ Преддонецкого предгорного прогиба. Наличие выраженной асимметрии характерно для большинства платформенных рифтов [Белоусов, 1989; Чекунов, 1994].

Характерной особенностью Донецкого бассейна является региональная газоносность [Геология..., 1963; Фролов, Бобров, 1981]. Соотношения между мощностями азотно–углекислой (режим активного инфильтрационного водообмена и полной дегазации угольных пластов), метаново–азотной (азотно–углекисло–метановой) и метановой зон варьируют в широких пределах. При наличии газопроводящих нарушений, по которым поступает метан из более глубоких горизонтов, или газопроницаемой покрышки, поверхность метановой зоны может совпадать с поверхностью угленосного карбона [Геология..., 1963].

В пределах метановой зоны, охватывающей большую часть объема ДСС, газ присутствует как в сорбированном, так и в свободном состоянии. Признаками существования разнообразных по величине газовых скоплений являются суффлярные выделения метана в горных выработках, дебит которых колеблется в широких пределах, достигая в ряде случаев десятков тысяч м³/сут. Анализ большого количества суффляров геологического происхождения в шахтах Донбасса и притоков газа при бурении в пределах ДСС [Фролов, Бобров, 1981] свидетельствует о связи метановых залежей с литогенетическими (линзовидные песчаные тела различного генезиса, трещинно–каверзно–поровые карбонаты), пликативными (мелкие антиклинальные и синклинальные складки с повышенной трещиноватостью пород) и дизъюнктивными (полости сбросов, поднадвиговые зоны трещиноватости и т.п.) ловушками. Наряду с локальными литологическими и тектоническими факторами на газообильность угленосного карбона

влияет степень регионально–эпигенетических изменений. Максимальная метаноносность характерна для стадий МК₂–АК₁ (угли Г–ОС), в то время как на более высоких стадиях наблюдается последовательное снижение метанообильности вплоть до резкого уменьшения метанопроявлений в отложениях, вмещающих полуантрациты и полного их отсутствия на стадии позднего метанега (суперантрациты).

Суфлярные скопления газа, которые связаны большей частью с процессами современного газонакопления, были выделены А.Е. Лукиным в особый геолого–техногенный тип газовых скоплений, приуроченный к газопроводящим нарушениям и трещинным зонам [Лукин, 1997]. При вскрытии таких газовых «дрен» горными выработками и скважинами вследствие арочного эффекта, в анизотропном, сложном переслаивании глинистых, песчаных и карбонатных пород в угленосном горном массиве резко возрастает его газопроницаемость. При этом радиус нагрузки напряжения и соответствующие улучшения фильтрационных свойств экспоненциально возрастает с глубиной [Желтов, 1966]. Приток газа в свою очередь вызывает дальнейшее расширение зоны повышения газопроницаемости, что приводит к дренированию больших объемов газоносного горного массива. По–видимому, в глубоких горизонтах ДСС, в частности в турнейских и нижневизейских депрессионно–черносланцевых и карбонатных формациях, существуют крупные разуплотненные породные массивы – мегарезервуары огромных газовых и газоконденсатных скоплений. Более того, особенности его строения и закономерности тектоно–геодинамической эволюции позволяют предполагать существование газоносных очагов дилатансии в докембрийском фундаменте. В частности, возможно существование такого мегаочага в центральной части Донбасса, которая испытала максимальные напряжения сжатия, связанные с многократными фазами тектогенеза. С этой точки зрения большой интерес представляют блоки с признаками разуплотнения, выявленные методом АСЭМЭЗ по профилям "DOBRE" (см. рис. 2). Их можно рассматривать как неизбежно возникающие вследствие волнового характера многократных геодинамических напряжений сателлиты центрально–днепровского мегаочага дилатансии.

Современные высокая температура и спонтанные выбросы угля, породы и газа в шахтах Донбасса дают основание полагать, что релаксация упомянутого термонапряженного состояния в земной коре региона еще не завершилась. Набор этих катастрофических факторов обусловлен аддитивным воздействием рекуррентного рифтогенного магматизма, на что

указывают многочисленные радиоизотопные определения, начиная, по крайней мере, с раннего девона, то есть уже в течение около 400 млн. лет. Естественно предположить, что такое длительное пребывание региона в столь экстремальных условиях не может не сказаться на таком же тектонически экстремальном современном его состоянии.

В итоге представляется, что приведенные материалы не дают основания связывать плективную тектонику Донбасса с инверсионной стадией развития геосинклинали [Усенко, 2002, Гордиенко, Усенко, 2004]. Солидаризируясь с [Чекунов, 1994, Баранова, Егорова, 2004, Стомба, Толкунов, Стифенсон и др., 2002], мы настаиваем на изначально рифтогенной его природе. В результате Донецкий рифтоген оказался принадлежащим не какому–то специфическому тектоническому сооружению, не имеющему сложившегося определения (см. выше), а последовательно продолжает на юго–восток Днепровско–Донецкий палеорифт. Заложение рифтогена состоялось в протерозое, было связано с протерозойским палеомагнитным экватором (3), рекуррентно усложнилось его аналогами (20) и (29) в палеозое и испытало тектономагматическую активизацию в киммерийскую эпоху [Коболев, Оровецкий, 2008].

В настоящее время указанная территория вместе с Припятским грабеном и Днепровско–Донецким палеорифтом, расположенными северо–западнее, относятся к общей структуре Днепровско–Донецкого горячего пояса [Коболев, Оровецкий, 2008]. Далее на юго–восток, на одной линии с предыдущими структурами размещены последовательно вал Карпинского и складчатая система Мангышлака, переходящая в северо–западные отроги Тянь–Шаня. В сумме перечисленные тектогены образуют трансрегиональный Сарматско–Туранский [Айзберг, Гарецкий, Синичка, 1971] или Днепровско–Тянь–Шанский [Белюсов, 1989] линеамент (рис. 3). Известный исследователь этой крупнейшей полихронной линейной структуры Евразии – Б.С. Панов именовал ее «линеаментом Карпинского» и трассировал от Исландии на северо–западе до побережья Японского моря на юго–востоке [Панов, 1994], чем ставит ее в один ряд с глубинными по своей природе планетарными рифтогенами горячих поясов Земли [Оровецкий, Коболев, 2006].

Практические пути повышения безопасности горных работ. Как показали приведенные результаты, современный прогрев Донбасса, включающий механизм объемного расширения, связан с расположенным в земной коре региона киммерийским магматическим очагом, современная температура которого приближается к расчетным 600°C [Усенко, 2000].

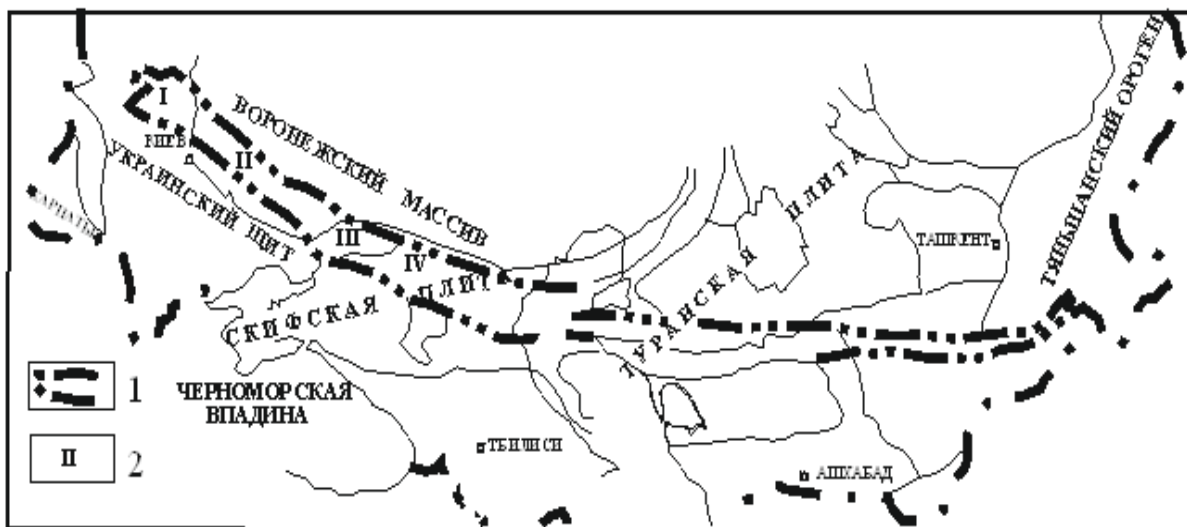


Рис. 3. Расположение Сарматско–Туранского или Днепровско–Тянь–Шанского линеймента (по [Айзберг, Гарецкий, Синичка, 1971]). 1 – границы линеймента, 2 – регионы: I – Припятский рифтоген, II – Днепровско–Донецкий палеорифт, III – рифтоген Складчатого Донбасса, IV – вал Карпинского.

Горный массив Донбасса площадью около 60 тыс. км² и мощностью порядка 20 км при температурном расширении оказывает значительное давление на жесткие, ограничивающие его соответственно с юга и севера древние Украинский щит и Воронежский массив. Не в силах их раздвинуть, Донбасс, по принципу противодействия, сам был переведен в упруго–сжатое состояние. Разрядка – или релаксация – этих упругих напряжений происходит исключительно в сторону меньшего давления, то есть к земной поверхности и, в нашем случае, к расположенной внутри массива горной выработке, которая искусственно формирует внутри массива область низкого горного давления. Направленные в сторону выработки движения релаксационного происхождения, порождают в конечном итоге динамические (обрушения породы, горные удары) и газодинамические (выбросы) явления.

Прогнозирование на полях действующих и строящихся шахт напряженных участков, потенциально опасных по газодинамическим явлениям, позволит своевременно выполнять профилактические мероприятия, повышая безопасность горных работ, и существенно сократить затраты на неопасных участках, повышая тем самым эффективность горного производства.

В общем виде предлагаемый комплекс мер сводится к следующему.

На территории всего Донбасса необходимо провести детальные площадные сейсмические и аэрогеофизические исследования (АСЭМЭЗ). Полученные результаты позволят выявить не только общее его напряженное состояние, но и основные направления, по которым эти напряжения действуют. Существование локальных напряженных участков на их фоне можно установить при помощи GPS мониторинговых наблюдений с получением в итоге карты современных вертикальных движений. В этом случае территория Донбасса покрывается стационарно действующей сетью GPS профилей, на которых в одних и тех же точках определяются их

высоты. Этим выявляются аномальные по скорости воздымания релаксационные участки, под которыми предполагается наличие аномальных глубинных напряжений. По общим, сейсмическим и GPS – результатам предполагается построение карты упруго–напряженного состояния Донбасса, где особое внимание будет уделено исключительно напряженным участкам, потенциально опасным по газодинамическим явлениям. На потенциально опасных участках проводятся геохимические исследования с целью определения изотопного состава выделяющихся в горные выработки горючих газов и построения карт распределения газов глубинного происхождения [Свдошук, Вергельска, 2013].

Конкретно профилактические меры сводятся к тому, что отдельные шахты, шахтные поля или объекты готовые к эксплуатации, окружаются, с учетом данных карты упруго–напряженного состояния Донбасса, искусственно создаваемыми областями низкого горного давления, которые предлагаем называть «поясами шахтной безопасности» (рис. 4). Создание этих сооружений предполагается осуществить в виде серии буровых скважин, размещенных по периметру промышленной зоны. В скважинах предполагается провести разуплотнение горных пород взрывным методом, при помощи строго рассчитанного по своей мощности взрыва.

Эксплозивно–разуплотненные зоны должны располагаться на глубинах, близких к продуктивным горизонтам. Утилитарность поясов шахтной безопасности состоит в том, что основная масса выбросов будет сконцентрирована в этом случае не в пределах промышленной зоны, а в искусственно созданной и вынесенной за ее пределы области низкого горного давления.

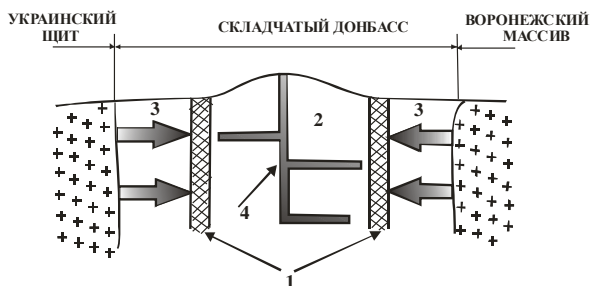


Рис. 4. Иллюстрационная схема пояса шахтной безопасности. 1 – пояс шахтной безопасности, 2 – внутрипоясная зона – массив безопасности, 3 – упруго-напряженная зона, 4 – шахтная выработка.

Эта область будет вынуждена принять на себя катастрофические, внешние по происхождению, релаксационные подвижки, оставляя, тем самым нетронутой, в виде своеобразных массивов безопасности, систему рабочих шахтных выработок.

Таким образом, при разработке выбросоопасных пластов на потенциально опасных участках для создания областей низкого горного давления необходимо изыскивать возможность опережающей отработки защитных пластов, как наиболее эффективного противовыбросного мероприятия. На большинстве угольных шахт такая возможность имеется, но с каждым годом объемы применения опережающей отработки защитных пластов сокращаются, поскольку это требует дисциплины ведения горных работ. При отсутствии этой возможности необходимо применять локальные способы разгрузки массива вокруг горных выработок, соизмеряя их параметры с напряженностью опасного участка.

Одной из причин взрывов метановоздушной смеси на угольных шахтах, при прочих равных условиях, являются аномальные выделения горючих газов в горные выработки. Поэтому при проектировании системы дегазации угольных шахт необходимо кроме кратковременно работающих скважин закладывать в обязательном порядке и скважины долговременной добычи метана, места расположения которых выбираются по картам распределения газов глубинного происхождения. В этом случае, помимо основного вопроса безопасности горных работ, решается еще одна актуальная для Украины задача промышленной добычи метана угольных шахт для местных потребностей. Подобного рода технология добычи сопутствующего газа–метана в угольных бассейнах успешно осуществляется в США.

Что же касается повышенной взрывоопасности в шахтах Донбасса, то эта проблема представляется более сложной. Если причины, приводящие к выбросам, можно искусственно экранировать, изолируя от них горные выработки указанным выше способом, то проделать аналогичные действия с внутриземным теплом мы бессильны. Любые физические тела, в том числе и экран, могут быть нагреты. Вопрос заключается лишь в длительности прогрева. Прогрев углей, которые в изобилии находятся в осадочной толще Донбасса, приводит их

к дегазации. В этом отношении угли делятся на различные разновидности (марки). Они отождествляются со степенью метаморфизма, или иначе – с мерой преобразования изначального детрита внутриземным теплом. Наиболее метаморфизованным считается антрацит. Содержание в нем летучих веществ – имеется в виду газ метан – наименьшее и составляет всего около 6%. Менее всех метаморфизованы угли марки «Д», где содержание метана в семь раз больше и достигает 42% [Газоносность угольных бассейнов ..., 1979]. Зная это, легко прийти к логическому заключению: из антрацита под воздействием метаморфизующего теплового потока значительные количества метана улетучились; в углях марки «Д» его остаточные содержания еще значительны, и метан в процессе дегазации скапливается в горной выработке, где представляет реальную угрозу. Исходя из этого, приходим к выводу: районы Донбасса, где широко распространены антрациты, менее опасны «по газу», нежели те, где развиты угли марки «Д».

Однако при этом остается открытым вопрос о взрывоопасности угольной пыли. Здесь обстановка представляется обратной. Антрацит, состоящий на 92–97% из чистого, быстро воспламеняющегося углерода, приобретает в результате метаморфизма чрезвычайную хрупкость. При добыче современными высокопроизводительными шахтными агрегатами, значительная его часть переходит в пыль, создавая тем самым непосредственную угрозу воспламенения и даже взрыва. Угли марки «Д», наоборот, представляют собой рыхлый порошкообразный агрегат. В них постоянно присутствуют песок, глина и другие негорючие примеси. Их наличие определяет зольность углей, величина которой может достигать до 50%. Естественно, что такие угли, представляя очевидную угрозу «по газу», безопасны «по пыли». Однако антрацит и уголь марки «Д» – только крайние представители в изоморфном ряду углей. Между ними располагаются марки Г, ПЖ, К, ПС и Т [Газоносность угольных бассейнов ..., 1979]. Их физические свойства изменяются в зависимости от количества того или иного крайнего ингредиента, присутствующего в угле. Потому определить горную выработку по преобладающему виду опасности на практике не представляется возможным. Думается, что единственным мероприятием, которое способно предотвратить угрозу взрыва, как газа, так и пыли в шахте, может быть снижение их предельно допустимых концентраций в шахтной атмосфере. И сделать это, принимая во внимание присутствие в шахте людей, можно тоже единственным способом – постоянной, интенсивной проточной и принудительной вентиляцией горных выработок. Усиленная вентиляция в таких масштабах потребует дополнительных энергетических затрат, которые лягут на себестоимость угля. Частично они могут быть оправданы утилизацией воздуха, нагретого в шахте естественным путем. Заключенный в соответствующие изолирующие магистрали, нагретый воздух может использоваться для постоянного и малозатратного отопления непроизводственных и других помещений, теплиц и т.п.

3. ВЫВОДЫ

Предложенные мероприятия по повышению безопасности угольных шахт Донбасса можно свести к следующим основным положениям.

1. Построение карты упруго-напряженного состояния земной коры Донецкого угольного бассейна, положив в ее основу результаты детальных площадных сейсмических и аэрогеофизических работ (в модификации АСЭМЭЗ), а также мониторинга современных движений в регионе, геохимических исследований распределения газов глубинного происхождения.

2. Использовать способы разгрузки массива вокруг горных выработок, с обязательным учетом особенностей карты упруго-напряженного состояния Донбасса и параметров путей миграции горючих газов.

3. В качестве первоочередных мер представляется необходимым разработку геофизической аппаратуры для прогноза потенциально опасных зон, изучение природы и путей миграции горючих газов в горные выработки, создание системы мониторинга за характером развития процесса движения земной поверхности в условиях высоких скоростей подвигания очистных забоев, цифровых моделей шахт и программного обеспечения для информационной поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций.

В итоге представляется, если поставленная в статье сверхсложная, но архиважная задача будет осуществлена, шахтерская профессия перестанет быть одной из самых опасных. Шахта перестанет таить в себе чрезвычайную жизненную угрозу, а шахтер превратится в обычного труженика, о чем, можно с уверенностью сказать, мечтали многие поколения горняков.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Айзберг В.Е., Гарецкий Р.Г., Синичка А.М. Сарматско-Туранский линеймент земной коры. В кн. «Проблемы теоретической и региональной тектоники». М., Наука, 1971, с.41–51

2. Баранова Е.П., Егорова Т.П. Сейсмогравитационная модель земной коры Восточного Донбасса по результатам переинтерпретации материалов ГСЗ по профилю Сурувики-Песчанокопская. Геофиз. журн., 2004, т.26, №2, с.87–101.

3. Белоусов В.В. Основы геотектоники. М., Недра, 1989, 382с.

4. Бокий Б.В., Гуля Д.П., Пимоненко Л.И., Балалаев А.К., Вергельская Н.В. Миграция и накопление глубинного газа как один из факторов возникновения аварийных ситуаций // Тектоніка і стратиграфія. – 2013, №40. – С. 49–58.

5. Вергельская Н.В., Скопиченко І.М., Євдошук М.І. Особливості формування покладів газу вугільних родовищ // Матеріали VI Міжнародного геологічного форуму «Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво», 17–22 червня 2019, м. Одеса, (Геофорум–2019). С. 42–44.

6. Гавриш В.К., Недошовенко А.И., Рябчун Л.И., Петрова Е.С. Проблемы тектоники Доно-Днепровского прогиба // Тектоносфера Украины. К.: Наук. думка, 1989. – С. 109–115.

7. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР/ Гл. ред. А.И. Кравцов. – М.: Недра. 1979. – Т. 1. Угольные бассейны и месторождения европейской части СССР. – 628 с.

8. Геоэлектрическая модель тектоносферы Евразийского складчатого пояса и сопредельных территорий. Под. ред. В.В. Беляевского, С.Н. Кулика. Киев: Знання, 1998, 264с.

9. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие / Под ред. В.К. Гавриша. – Киев: Наук, думка, 1989. – 208с.

10. Гордиенко В.В., Усенко О.В. Геосинклинальный процесс на примере герцинской геосинклинали Донбасса. Геофиз. журн., 2000, т.22, №5, с.33–38.

11. Град М., Гринь Д., Гутерх А., Келлер Р., Ланг Р., Лингси С., Лысинчук Д., Лысинчук Е., Омельченко В., Старостенко В., Стифенсон Р., Стомба С., Тибо Г., Толкунов А., Яник Т. DOBRE–99: Структура земной коры Донбасса вдоль профиля Мариуполь–Беловодск // Физика Земли. – 2003. – №6. – С. 33–43.

12. Град М., Гутерх А., Келлер Р., Ланг Р., Омельченко В.Д., Старостенко В.И., Стифенсон Р., Стомба С.Н., Тибо Г., Толкунов А.П. Работы методом глубинного сейсмического зондирования по профилю DOBRE // Строение и динамика литосферы Восточной Европы. Результаты исследований по программе EUROPROBE. – Москва: ГЕОКАРТ. ГЕОС. – 2006. – Вып. 2. – С. 321–327.

13. Євдошук М.І., Вергельська Н.В. Показники газової складової як ознаки джерел газонасичення відпрацьованого простору діючих шахт Донбасу // зб. наук. праць УкрНДМІ, 2013. – Т. 13, Ч. 2. – С. 308–319.

14. Желтов Ю.П. Деформации горных пород. – М.: Недра, 1966. – 198 с.

15. Коболев В.П., Оровецкий Ю.П. Днепровско-Донецкий горячий пояс // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Гірничо-геологічна”. Випуск 8(136). Донецьк, 2008. С. 113–122.

16. Ковалевский Е. Опыт геогностических исследований въ Донецкомъ горномъ краѣ // Горный журналъ или собраніе свѣдѣній о горномъ и соляномъ деле, с присовокупленіемъ новыхъ открытій по наукамъ, к сему предмету относящимся. Книжка II. Санктпетербургъ, 1827. – С. 27–56.

17. Кутас Р.И., Бевзюк М.И. Земной тепловой поток Донбасса // Геофиз. журнал. – 1992. – 2. – С.14–22.

18. Логвин В.Н., Попович В.С., Татаринова Т.А. Строение западного Донбасса по результатам сейсмогравитационного моделирования // Наук. вісн. НГУ. – 2003. – №6. – С. 50–54.

19. Лукин А.Е. Литолого-динамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах. – К.: Наук. думка. – 1997. – 224 с.

20. Оровецкий Ю.П., Коболев В.П. Горячие пояса Земли. Киев: Наукова думка, 2006. – 312 с.
21. Палиенко В.П. Новейшая тектоника и ее отражение в рельефе Украины. Киев, Наук. думка, 1992, 116 с.
22. Панов Б.С. Глубинные разломы и минерагения линеамента Карпинского с позиций синергетического анализа. Киев, Препринт ИГМР–94 АН Украины, 1994, 74с.
23. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев, Наук. думка, 1986, 184с.
24. Старостенко В.И., Купrienko П.Я., Макаренко И.Б., Легостаева О.В. Плотностная модель земной коры вдоль профиля DOBRE // Геофиз. журн., 2008. – Т. 30. – №1. –С. 28–41.
25. Старостенко В.И., Лукин А.Е., Коболев В.П., Русаков О.М., Орлюк М.И., Шуман В.Н., Омельченко В.Д., Пашкевич И.К., Толкунов А.П., Богданов Ю.А., Буркинский И.Б., Лойко Н.П., Федотова И.Н., Захаров И.Г., Черняков А.М., Купrienko П.Я., Макаренко И.Б., Лебедь Т.В., Савченко А.С. Модель глубинного строения Донецкого складчатого сооружения и прилегающих структур по данным региональных геофизических наблюдений // Геофизический журнал. – 2009. – 31, № 4. С. 44–68.
26. Степанов П.И. Большой Донбасс. М.–Л: Геораствездиздат, 1932. – 32 с.
27. Стомба С.Н., Толкунов А.П., Стифенсон Р.А. и др. Глубинное строение Донецкого складчатого сооружения по данным региональных работ МОГТ на профиле ДОБРЕ–2000. Наук. вісн. НГАУ, 2002, №4, с. 81–84.
28. Стомба С.Н., Толкунов А.П., Майстренко Ю.П., Стифенсон Р.А., Баер У., Гаевский Д., Раббель В., Старостенко В.И., Тибо Г. Глубинные исследования по профилю DOBRE методом ОГТ // Строение и динамика литосферы Восточной Европы // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1946. – №6. – С. 57–90.
29. Шатский Н.С. Основные черты строения и развития Восточно–Европейской платформы.
30. Шумлянський В.А. Киммерійська металлогенічна епоха на території України. Київ, Наук. думка, 1983, 220 с.
31. Grad M. et al., 2003. “DOBREFraction’99” – velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (East Ukraine), Tectonophysics, 371(1–4), 81–110.
32. Maistrenko Yu., Stovba S., Stephenson R., Bayer U., Menyoli E., Gayevski D., Huebscher C., Rabbel W., Sanintot A., Starostenko V., Thybo H., Tolkunov A. Crustal scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas Fold belt, Ukraine // Geology, 2003. V. 31, N8. – P. 733–736.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Розгляд природи виникнення катастрофічних подій на шахтах Донецького вугільного басейну.

Методика. Структурно–тектонічний аналіз пружно–напруженого стану Складчастого Донбасу.

Результати. У статті обговорюються питання геологічної будови і фізичного стану Складчастого Донбасу, як основи для оптимального нарізання шахтних полів, безпеки гірничих робіт, ефективного видобутку вугілля і супутнього газу–метану.

Практична значимість. Запропоновано методи можливого усунення раптових викидів вугілля, породи і газу в формі лавиноподібного руйнування привибійної частини вугільного (породного) масиву і практичні шляхи підвищення безпеки гірничих робіт.

Наукова новизна. Способи розвантаження масиву навколо гірничих виробок, з урахуванням пружно–напруженого стану Донбасу і параметрів шляхів міграції горючих газів.

Ключові слова: Складчастий Донбас, структурно–тектонічний аналіз, катастрофічні події, викиди вугілля, породи і газу.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Рассмотрение природы катастрофических событий на шахтах Донецкого угольного бассейна.

Методика. Структурно–тектонический анализ упруго–напряженного состояния Складчатого Донбасса.

Результаты. В статье обсуждаются вопросы геологического строения и физического состояния Складчатого Донбасса, как основы для оптимальной раскройки шахтных полей, безопасности горных работ, эффективной добычи угля и сопутствующего газа–метана.

Практическая значимость. Предложены методы возможного устранения внезапных выбросов угля, породы и газа в форме лавинообразного разрушения призабойной части угольного (породного) массива и практические пути повышения безопасности горных работ.

Научная новизна. Способы разгрузки массива вокруг горных выработок, с учетом упруго–напряженного состояния Донбасса и параметров путей миграции горючих газов.

Ключевые слова: Складчатый Донбасс, структурно–тектонический анализ, катастрофические события, выбросы угля, породы и газа.

ABOUT AUTHORS

В.П. Коболев, доктор геологических наук, профессор, главный научный сотрудник Института геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, Киев, Украина

E–mail: vpkoboлев@ukr.net, тел.050 493 44 45.